

## Şeftali Çekirdeği Kabuğunun Polyester Esaslı Kompozitin Mekanik Özellikleri Üzerine Etkisi

Sibel TOPUZ<sup>1</sup>, Ramazan ORHAN<sup>2\*</sup>

<sup>1,2</sup>Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Elazığ  
<sup>1</sup>stopuz@firat.edu.tr, <sup>2</sup>rorhan@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 18/03/2022;

Kabul/Accepted: 16/05/2022)

**Özet:** Bu çalışmanın amacı, şeftali çekirdeği kabuğunun polyester esaslı kompozitin mekanik özellikleri üzerindeki etkisini araştırmaktır. Polyester esaslı kompozit malzemeler, doymamış bir polyester reçineye ağırlıkça % 5, 10, 20 ve 40'lık farklı oranlara 149-297 µm boyutunda şeftali çekirdeği kabuğu tozu ilave edilerek elle döküm yöntemi ile hazırlanmıştır. Elde edilen saf polyester ve kompozit numunelerinin performanslarını değerlendirmek için çekme mukavemeti, eğilme mukavemeti ve sertlik gibi farklı mekanik testlere tabi tutulmuştur. Mekanik testlerin sonuçlarına göre, polyester reçineye eklenen şeftali çekirdeği kabuğunun kompozit numunelerin gerilme ve eğilme mukavemeti değerlerini azalttığı, ancak sertlik değerini, ağırlıkça %40 hariç çok fazla olumsuz etkilemediği tespit edilmiştir. Karışımdaki şeftali çekirdeği kabuğunun oranı arttıkça, üretilen kompozit numunelerin esneklik modülü de azalmıştır. Şeftali çekirdeği kabuğu partiküllerinin polyester matris içindeki dağılımı ise taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile gözlemlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Şeftali çekirdeği kabuğu, polyester kompozit, mekanik özellikler.

### The Effect of Peach Stone Shell on Mechanical Properties of Polyester Based Composite

**Abstract:** The aim of this study is to investigate the effect of peach stone shell on the mechanical properties of polyester-based composites. Polyester based composite materials were prepared by the hand casting method by adding 149-297 µm peach stone shell powder to an unsaturated polyester resin at different ratios of 5, 10, 20, and 40 wt%. To evaluate the performances of the pure polyester and composite samples obtained, they were subjected to different mechanical tests such as tensile strength, flexural strength, and hardness. According to the results of the mechanical tests, it was determined that the peach stone shell added to the polyester resin reduced the tensile and flexural strength values of the composite samples, but did not adversely affect the hardness value except for 40 wt%. As the ratio of peach stone shells in the mixture increased, the modulus of elasticity of the produced composite samples also decreased. The distribution of peach stone shell particles in the polyester matrix was observed by scanning electron microscopy (SEM).

**Key words:** Peach stone shell, polyester composite, mechanical properties

### 1. Giriş

Kompozit malzemeler, önemli ölçüde farklı mekanik özelliklere sahip olan ve bitmiş yapı içinde ayrı ve farklı kalan iki veya daha fazla bileşen malzemeden (matris ve takviye) yapılırlar. Her bir malzemenin en iyi özelliklerinin bir kombinasyonunu sergilerler. Matris sürekli fazı, takviye ise dispers fazı oluşturur. Kompozit malzemeler metalik malzemelere kıyasla hafiflik, yüksek darbe dayanımı, korozyon dayanımı gibi üstün mekanik özelliklere sahiptirler. Bundan dolayı kompozit malzemeler; özellikle hava, deniz ve kara taşıtlarında metalik malzemelere alternatif olarak kullanılmaya başlanmıştır. Kompozit yapılarda; hafiflik, mukavemet, yorulma dayanımı, aşınma direnci, elektrik-ısı iletkenliği ve düşük maliyet gibi kriterler takviye materyalinin seçiminde önemli rol oynamaktadır. Uygulama alanlarındaki gerekli fiziksel ve/veya kimyasal özelliklerin bir kısmını karşılamayan polimerler, çeşitli tip ve oranlarda lifler tarafından desteklendiğinde istenilen özellikleri sağlayabilen kompozit malzemeler oluşturulabilir [1]. Ayrıca, kompozit malzemelere destek olarak kullanılan cam, karbon ve aramid gibi takviye elemanlarının geri dönüşümlerinin güç olması, doğada parçalanma ömürlerinin uzun ve üretim maliyetlerinin yüksek olması bu malzemelerin yerine doğal lif ve kabukların kullanılmasını zorunlu kılmıştır [2]. Bu sorunların hafifletilmesi ve tarımsal atıkların daha verimli kullanılması için, genellikle selülozik bitkisel lifler sınıfında olan polimerlerin basit liflerini meyve ve yaprak gibi doğal liflerle destekleyerek doğal lif takviyeli kompozitlerin üretimi ve kullanımı yaygınlaşmıştır [3].

Teknoloji alanında hızla gelişmekte olan Dünyamızda, doğal kaynakların tüketiminin artmasına bağlı olarak atık malzemelerin kullanımı zorunlu bir hale gelmiştir. Atık malzemelerin endüstriye geri kazanım prosesi

\* Sorumlu Yazar: [rorhan@firat.edu.tr](mailto:rorhan@firat.edu.tr), Yazarların ORCID Numarası: <sup>1</sup>0000-0002-5200-1393, <sup>2</sup>0000-0003-2287-4238

kapsamında, yeraltından çıkarılan malzemelere olan talep azalacak ve hammadde çıkarılması sırasında doğaya zararlı etmenler giderilmiş olacaktır [4]. Bu kapsamda, ekolojik dengenin korunması da sağlanacaktır. Şeftali (*Prunus persica*) ülkemizde ve Dünya’da yaygın olarak yetiştiriciliği yapılan, gülgiller (*Rosaceae*) familyasından bir yaz meyvesidir. Gıda ve Tarım Örgütü (FAO)’nden alınan 2019 verilerine göre şeftali ve nektarin üretiminde Türkiye dünya ülkeleri arasında 5. sırada yer almaktadır [5]. Türkiye’de şeftali, sert çekirdekli meyve türleri içinde kayısıdan sonra en fazla yetiştiriciliği yapılan meyve türüdür. Şeftali çekirdeği kabuğu, sanayi tesislerinde, ekmek fabrikalarında enerji üretiminde yakacak olarak, mobilya sektöründe, kumlama, yüzey temizleme işlemlerinde, kimya ve kozmetik sanayisi gibi birçok alanda kullanılmaktadır.

Teknoloji çağı olarak adlandırılan yaşadığımız yüzyıl içerisinde, yeni nesil tarımsal atık katkılı kompozit malzemelerin kullanımlarının artırılması için yapılan bilimsel çalışmalarla ilgili süreç devam etmektedir. Tarımsal atıklar kullanılarak üretilen yeni nesil kompozit malzemeler üretim prosesi denetimi, geri kazanımı ve düşük maliyet işlevselliği bakımından endüstrideki birçok alana yeni katma değerler kazandırmaktadır. Endüstrideki üretim alanlarında tarımsal atık katkılı kompozitler üretim sırasındaki işlenebilirlikleri ve üretim sonrasındaki fonksiyonları bakımından kapsamaları oldukça geniştir [6]. Zeytin çekirdeği ve ticari polyester reçine ile yonga levha üretimini gerçekleştirdikleri çalışmada üretilen yonga levhanın nem içeriği, su emme, kalınlık şişmesi ve eğilme mukavemeti açısından standartları ile iyi bir uyum içinde olduğunu göstermiştir [7]. Erklig vd., cam elyaf ve bir epoksi reçinesi ile güçlendirilmiş kompozitlerde zeytin pirinasının (ZP) dahil edilmesini incelediler. Dolgu ilavesi ile çekme ve eğilme modülünde önemli ölçüde artışa neden olduğu, ancak ZP partiküllerinin %5’in (ideal değer) üzerinde eklenmesinin, matris ve partiküller arasındaki kimyasal uyumluluğu ve yük transferini bozduğu bulunmuştur [8]. Dolgu malzemesi olarak zeytinyağı ekstraksiyonunun katı atıklarından elde edilen zeytin fıstığı unu (ZFU) ve y-merkaptopropiltrimetoksisilan (MRPS) ile modifiye edilmiş zeytin fıstığı unu kullanılarak sıkıştırma-kalıplama yöntemi ile polyester esaslı kompozit üretilmiştir. Silanla muamele edilmiş ZFU kullanıldığında, sertleştirme etkisinde daha iyi bir artış ve su absorpsiyonunda bir azalma kaydedilmiştir [9]. Sewench ve Samah tarafından, kestane kabuğu dolgu maddesi ile epoksi kompozit üretiminde dolgu miktarının artırılması bazı mekanik, termal ve dielektrik özellikleri geliştirdiği rapor edilmiştir [10]. Borazan ve ark. tarafından yapılan çalışmada, çam kozalağı toz dolgusu ile polyester kompozit üretiminde artan dolgu miktarının, eğilme mukavemetinde bir azalmaya ve elastik modülünde bir artışa yol açtığı belirtilmiştir [11]. Elle yatırma prosedürüne göre buğday samanı takviyeli polyester kompozitlerin eğilme özellikleri üzerine yapılan çalışmada buğday samanı ilavesiyle eğilme modülünün azaldığı belirlenmiştir [12].

Bu çalışmada, tarımsal atık olarak sınıflandırılan şeftali çekirdeği kabuğu tozu kullanılarak elle döküm yöntemi ile polyester esaslı kompozit malzeme üretilmiştir. Üretilen bu kompozit malzemenin ve saf polyester numunesinin performanslarını değerlendirmek için çekme mukavemeti, elastikiyet modülü, eğilme mukavemeti ve sertlik gibi farklı mekanik testlere tabi tutulmuştur. Dolgu malzemesi olarak kullanılan şeftali çekirdeği kabuğunun kompozit malzemedeki dağılımı ise taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile analiz edilmiştir.

## 2. Materyal ve Yöntem

### 2.1. Materyaller

Bu çalışmada, polyester reçinenin kürleme işleminde matris malzemesi olarak doymamış ortoftalik polyester reçine, sertleştirici ajan olarak metil etil keton peroksit (MEKP) ve hızlandırıcı olarak kobalt oktoat kullanılmıştır. Tüm bu kimyasallar TURKUAZ polyester firmasından temin edilmiştir. Dolgu malzemesi olarak da şeftali çekirdeği kabuğu tozu kullanılmıştır. Şeftali çekirdeği kabukları Ege bölgesinden temin edilmiş ve kırılmış haldeki kabuklar önce bıçaklı bir öğütücüde toz haline getirilmiş daha sonra ise -50+100 mesh (149-297 µm arası tane boyutu) eleklerden elenmiştir (Şekil 1). Deneysel çalışmalarda toz halindeki şeftali çekirdeği kabuğunun %5, %10, %20 ve %40 olmak üzere dört farklı ağırlık fraksiyonu kullanılmıştır. Şeftali çekirdeği kabuğunun FT-IR spektrumları ise Shimadzu IRSpirit marka FT-IR spektrofotometresi kullanılarak 500-4000 cm<sup>-1</sup> dalga boyu aralığında değerlendirilmiştir. Ayrıca referans olarak saf polyester numunesi de hazırlanmış ve test edilmiştir.



Şekil 1. Kullanılan dolgu malzemesi

Tablo 1. Polyester reçine ve kompozit numunelerinin bileşimi

Dolgu içeriği [ağırlıkça%]	Polyester reçine [ağırlıkça%]	Kobalt oktoat [ağırlıkça%]	MEKP [ağırlıkça%]
0	98.5	0.5	1.0
5	93.5	0.5	1.0
10	88.5	0.5	1.0
20	78.5	0.5	1.0
40	58.5	0.5	1.0

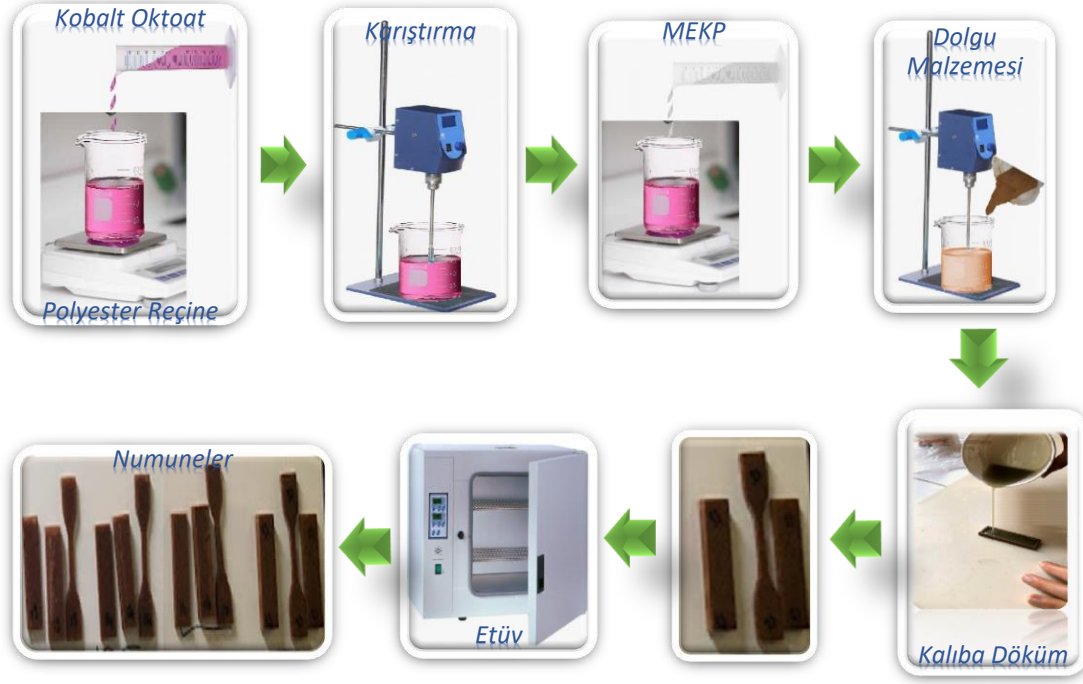
## 2.2. Kompozitlerin Hazırlanması

Tarımsal bir atık olan şeftali çekirdeği kabuğu tozu kullanılarak üretilen polyester esaslı kompozit malzeme için daha önceki çalışmamızda olduğu gibi hem maliyet açısından ucuz hem de üretim aşamasında kolay bir yöntem olan elle döküm yöntemi kullanılmıştır [13]. 100 g yapıştırıcı içerisindeki polyester reçinenin jelleşmesini sağlayan kobalt oktoat oranı ağırlıkça % 0.5 ve sertleşmeyi sağlayan MEKP oranı % 1.0'dir. Polyester reçine ve hazırlanan dolgular Tablo 1'de belirtilen oranlarda tartıldı. Gereken doymamış polyester reçine miktarı bir karıştırma kabında ölçüldü. Polyester reçineye hızlandırıcı ve sertleştirici ilave edildi ve mekanik karıştırıcı (IKA RW20 marka) kullanılarak 800 rpm hızında yaklaşık 1 dk daha sonra uygun miktarda dolgu maddesi ilave edilerek homojen bir karışım elde edilene kadar yaklaşık 1-2 dk karıştırıldı. Karışım kalıplara dökülmeden önce kalıp yüzeylerine kalıp ayırıcı (Polivaks SV-6) uygulandı daha sonra kalıbın 30 cm yukarısından yavaşça kalıba döküldü ve hava kabarcıklarının hapsolmesini azaltmak için son derece ince bir dökme akışı sağlandı. Bileşimin oda sıcaklığında (4-6 saat) herhangi bir bozulma olmaksızın kürlenmesine izin verildi. Levhalar kalıptan çıkarıldı. 80°C'de bir saat süreyle etüvde kürlenme işlemi yapıldı. Kompozit malzeme üretimi için akış şeması Şekil 2'de ve tipik hazırlanan kompozit örnekler Şekil 3'te gösterilmiştir.

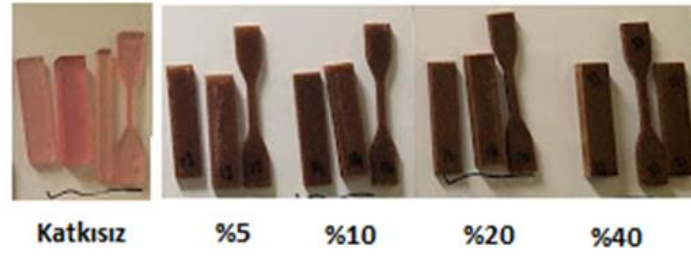
## 2.3. Mekanik Testler

Şeftali çekirdek kabuğu kullanılarak elde edilen kompozit numunelere yapılan testler aşağıda yer almaktadır.

- Çekme mukavemeti testi
- Üç nokta eğilme mukavemeti testi
- Sertlik testi



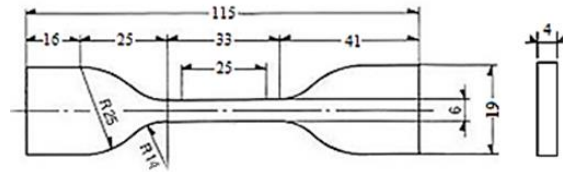
Şekil 2. Polyester kompozit üretim süreci için basitleştirilmiş akış şeması



Şekil 3. Şeftali çekirdeği kabuğu katkılı kompozit malzeme numunesi

### 2.3.1. Çekme Mukavemeti Testi

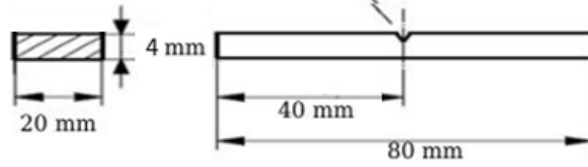
Kompozit ve polyester numunelerinin gerilme davranışını belirlemek için ASTM D 638M-91 [14] standartına göre numuneler hazırlandı. Hazırlanan numuneler Universal çekme test makinesi kullanılarak 1.0 mm/dk çapraz kafa hızında test edildi. Her bileşim için üç numune test edildi ve sonuçların ortalaması alındı. Bu sonuçların ortalamasına göre elastikiyet modülü ve çekme mukavemeti değerleri belirlenmiştir. Numunelerin şekli ve boyutları Şekil 4’de verilmiştir.



Şekil 4. Çekme mukavemeti test numunesinin ölçüleri

### 2.3.2. Üç Nokta Eğilme Mukavemeti Testi

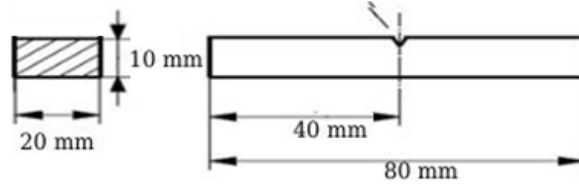
Eğilme özelliklerini belirlemek için ASTM D 790-03 [15] standartına uygun olarak hazırlanan kompozit ve polyeester numunelerine üç nokta eğilme testleri uygulandı. Üç nokta eğilme testi için, dış silindireler 40 mm aralıklı ve numuneler ise 1.0 mm/dk'lık bir gerilme hızında test edilerek eğilme mukavemeti değerleri belirlenmiştir. Numunelerin şekli ve boyutları Şekil 5'de verilmiştir.



Şekil 5. Üç nokta Eğilme mukavemeti test numunesinin ölçüleri

### 2.3.3. Sertlik Testi

Sertlik ölçümleri için ASTM D2240 [16] standardına uygun olarak hazırlanmış saf polyeester ve kompozit numunelerin TIME TH-210 Dijital Shoremetre cihazı ile Shore-D sertlik değerleri ölçüldü. Hazırlanan numuneler cihaza yerleştirilmiş ve 5 farklı bölgeden sertlik ölçümü yapılmıştır. Hesaplamalarda elde edilen bu 5 değerlerin ortalaması kullanılmıştır. Numunelerin şekli ve boyutları Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Sertlik test numunesinin ölçüleri

## 2.4. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizi

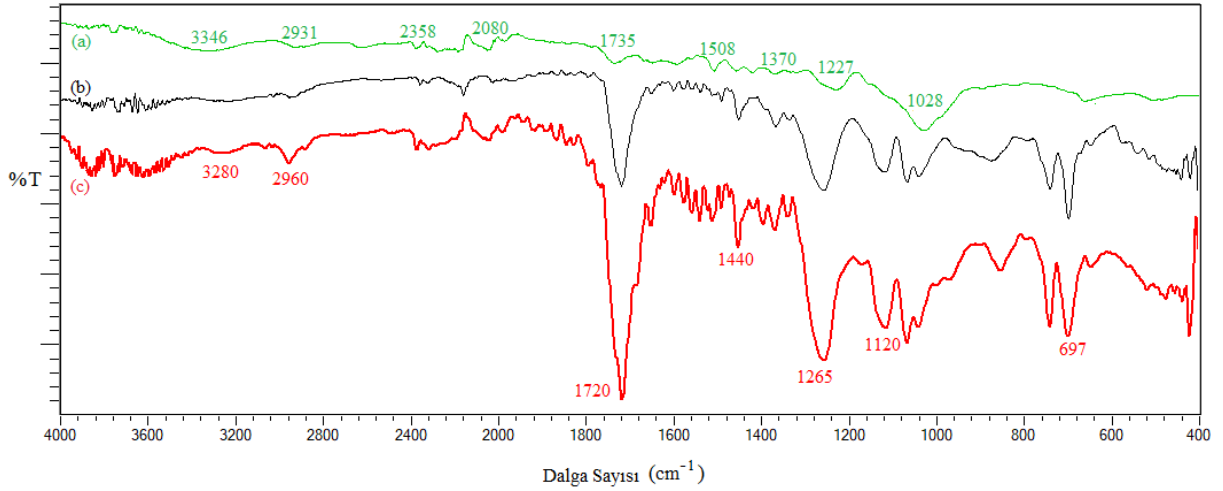
Saf polyeester ve şeftali çekirdeği kabuğu kullanılarak elde edilen kompozit numunelerinin SEM mikrografları ikincil elektron modunda 20 kV hızlanma voltajında bir taramalı elektron mikroskobu (SEM, Zeiss EVO MA 10 Modeli) kullanılarak incelenmiştir. Numune arkını önlemek için, elektron mikroskobu gözlemlerini taramadan önce numuneler bir Denton Vacuum Desk V otomatik püskürtmeli kaplayıcıda ince bir altın tabakasıyla kaplanmıştır.

## 3. Sonuçlar ve Tartışma

### 3.1. FT-IR Spektrum Analizi

Şeftali çekirdeği kabuğu tozuna ait FT-IR spektrumları Şekil 7(a)'da verilmiştir. 3346  $\text{cm}^{-1}$  civarındaki geniş ve yoğun bant, bağlı hidroksil gruplarının (OH) varlığına ve 2931  $\text{cm}^{-1}$ 'de görülen band metil ve metilen gruplarının yan zincirlerinde bulunan C-H gerilme titreşimlerine karşılık gelmektedir. 2080 ve 2358  $\text{cm}^{-1}$  civarındaki bant C = C grubunun varlığını ifade etmektedir. 1735  $\text{cm}^{-1}$ 'deki bant genellikle ketonlar, aldehitler, laktonlar veya karboksil gruplarının C=O gerilme titreşimlerini göstermektedir. 1508  $\text{cm}^{-1}$  'deki pik, aromatik C-C bağına atfedilebilen C = C gerilmesinden kaynaklanmaktadır. 1370-1460  $\text{cm}^{-1}$ 'deki absorpsiyon bantları, şeftali çekirdeği kabuğundaki biyokütlenin üç ana bileşeni olarak selüloz, hemiselüloz ve ligninin alkan gruplarının karakteristiği olan -CH<sub>3</sub>, -CH<sub>2</sub> ve -CH'in varlığını göstermektedir. 1227  $\text{cm}^{-1}$  'deki pik bileşiklerdeki C-O-C fonksiyonel gruplarına, 920-1160  $\text{cm}^{-1}$  'deki geniş bant ise asitler, alkoller, fenoller ve eterler ve/veya ester gruplarındaki C-O gerilimine atanmıştır [17-20].

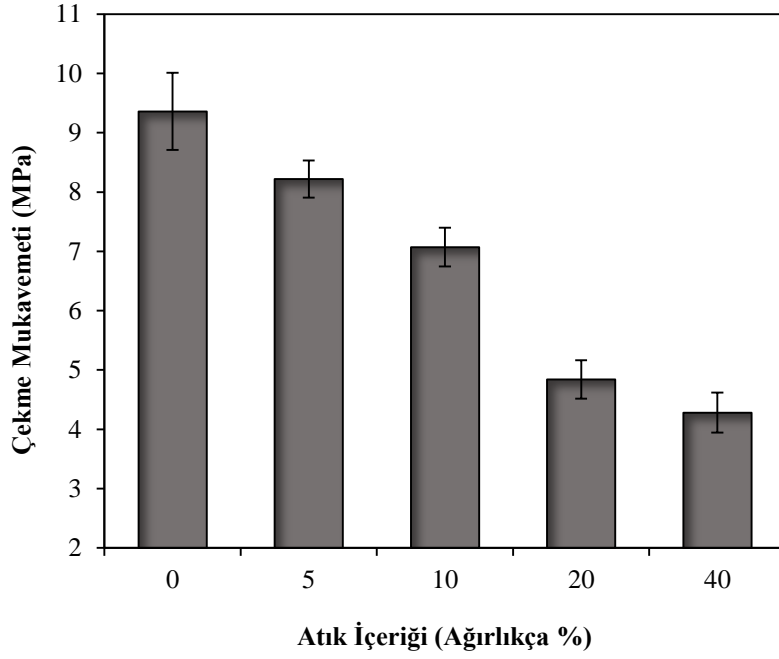
Şekil 7(b) ve (c)'de ise saf polyester ve kompozit malzemesine ait FTIR spektrumları görülmektedir. Polyester reçineye şeftali çekirdeği tozu karıştırıldığında geçirgenlik artmaktadır. 3280  $\text{cm}^{-1}$ 'deki bant, OH gruplarının gerilme titreşimleriyle ilgilidir. 2960  $\text{cm}^{-1}$ 'deki pik C-H fonksiyonel gruplarının gerilme titreşimlerine karşılık gelmektedir. 1720  $\text{cm}^{-1}$ 'de çift bağ C=O (ester) grubunun gerilme titreşimlerinden dolayı yoğun bir bant görülmektedir. 1400-1500  $\text{cm}^{-1}$  aralığındaki bantlar aromatik C-H bağının varlığına atfedilmektedir. 1265  $\text{cm}^{-1}$ 'deki güçlü bant C-O-C (ester) bağına karşılık gelmektedir. 1120  $\text{cm}^{-1}$  dalga sayısında C=C çift bağı ve 697  $\text{cm}^{-1}$  dalga numarasında ise diğer aromatik C-H bağları görülmektedir [21,22]. Polyester kompozitin spektrumu, saf polyester ile karşılaştırıldığında gözle görülür bir farklılık göstermediği bu nedenle şeftali çekirdeği tozunun, polimerin kimyasal yapısını etkilemediği söylenebilir.



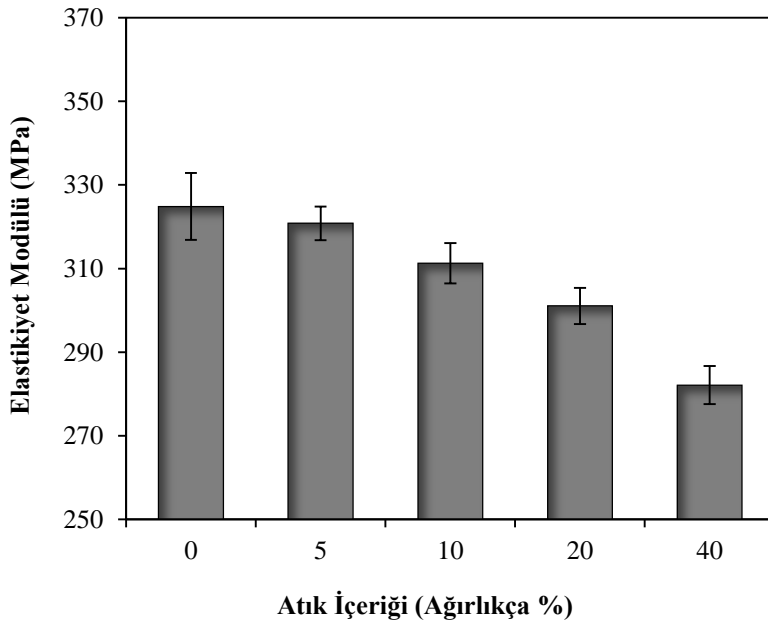
Şekil 7. (a) Şeftali çekirdeği kabuğu tozu, (b) Saf polyester ve (c) Polyester/ şeftali çekirdeği kabuğu kompozitin FTIR spektrumları

### 3.2. Çekme Mukavemeti Testi Sonuçları

Saf polyester ve farklı ağırlık yüzdesinde (%5-40) şeftali çekirdeği kabuğu kullanılarak üretilen polyester kompozit numunelerine uygulanan çekme mukavemeti deney sonuçları Şekil 8'de verilmiştir. Saf polyester ve kompozit numunelerin elastikiyet modülünün atık içeriği artışı ile değişimi de Şekil 9'da gösterildiği gibi elde edilmiştir. Şekil 8 ve Şekil 9'dan görüldüğü gibi saf polyestere ağırlıkça %5, 10, 20 ve 40 oranlarında şeftali çekirdeği kabuğu tozunun ilave edilmesi ile hem çekme mukavemeti hem de elastikiyet modülü değerlerinin azaldığı görülmektedir. Saf polyesterin çekme mukavemeti değeri 9.39 MPa ve elastikiyet modülü 324.67 MPa iken, ağırlıkça % 5 şeftali çekirdeği kabuğu katkılı kompozit numunesinin çekme mukavemeti değeri 7.86 MPa elastikiyet modülü değeri ise 320.66 MPa olarak bulunmuştur. Atık içeriği artışına bağlı olarak özellikle ağırlıkça % 20 ve % 40 için bu azalma devam etmiştir. Doymamış polyester reçinesine farklı oranlarda hurma çekirdeği parçacıkları ilave edilerek kompozit üretiminin yapıldığı bir çalışmada, numunelerin çekme mukavemetinde de benzer şekilde bir azalma gözlenmiştir [23]. Fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği kabuğu tozu kullanılarak üretilen kompozitlerin yapılan çekme mukavemeti deneylerinde, kompozitlerin gerilme dayanımı değerlerinin saf polyester numunesine göre daha düşük olduğu gözlenmiştir [24]. Kompozit malzemelerin mekanik özellikleri



Şekil 8. Saf polyeester ve farklı şeftali çekirdeği kabuğunun ağırlık yüzdesi ile kompozit numunelerinin çekme mukavemeti değişimi



Şekil 9. Saf polyeester ve farklı şeftali çekirdeği kabuğunun ağırlık yüzdesi ile kompozit numunelerinin elastikiyet modülü değişimi

genellikle dolgu maddesinin içeriği, partikül boyutu ve şekli, dolgu maddesi ile polimer matris arasındaki yapışma derecesi ve dolgu maddesinin matris içindeki dağılım derecesi gibi faktörlere bağlıdır. Ara yüzeydeki yapışma kuvvetinin zayıflığı ve boşlukların varlığı, dolgu malzemesi ile polyeester matris ara yüzeyinde gerilme transferinin

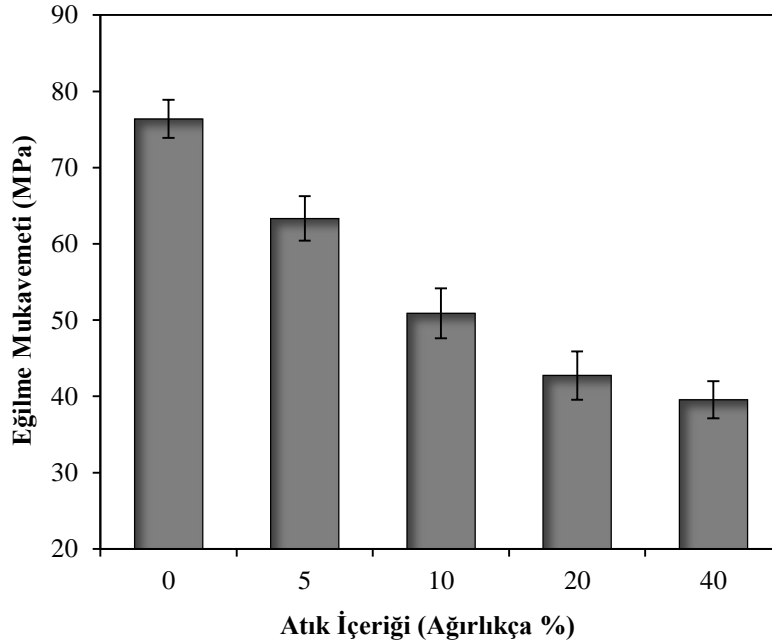
düşük olmasına dolayısı ile çekme mukavemeti ve elastikiyet modülü değerlerinin azalmasına neden olmaktadır [25]. Atık içeriğinin artışına bağlı olarak özellikle ağırlıkça %40'lık kompozit numunelerinde oluşan boşluklar SEM görüntülerinde teyit edilmiştir.

### 3.3. Üç Nokta Eğilme Mukavemeti Testi Sonuçları

Saf polyester ve şeftali çekirdeği kabuğu kullanılarak üretilen kompozit numunelerin üç nokta eğilme mukavemeti testlerinin sonuçları Şekil 10'da görülmektedir. Kompozit numunelerin eğilme mukavemeti değerlerinin, saf polyester numunesinin değerinden daha düşük olduğu belirlenmiştir. Saf polyesterin eğilme mukavemeti değeri 76.17 MPa iken, atık içeriği artışına bağlı olarak yani ağırlıkça % 5-40'lık şeftali çekirdeği katkılı kompozit numuneleri için bu değer sırasıyla 63.78, 53.42, 43.43 ve 40.55 MPa olarak bulunmuştur. Artan organik yapıdaki şeftali çekirdeği kabuğu miktarı ile eğilme dayanımı azalmıştır. Bunun nedeni olarak muhtemelen hidrofilik yapıdaki şeftali çekirdeği kabuğunun hidrofobik polyester ile uyumsuz olması söylenebilir. Bu durum, zayıf ara yüzey yapışmasına neden olacaktır. Ayrıca, kompozit yapıdaki boşlukların varlığı da eğilme mukavemetinin azalmasına neden olmaktadır [26]. Ameh ve ark. doymamış polyester reçineye farklı oranlarda hurma çekirdeği parçacıkları ilave edilerek üretimini yaptıkları kompozit numunelerinin artan parçacık yüklemesi ile eğilme mukavemeti ile elastikiyet modülününün azaldığını rapor etmişlerdir [23].

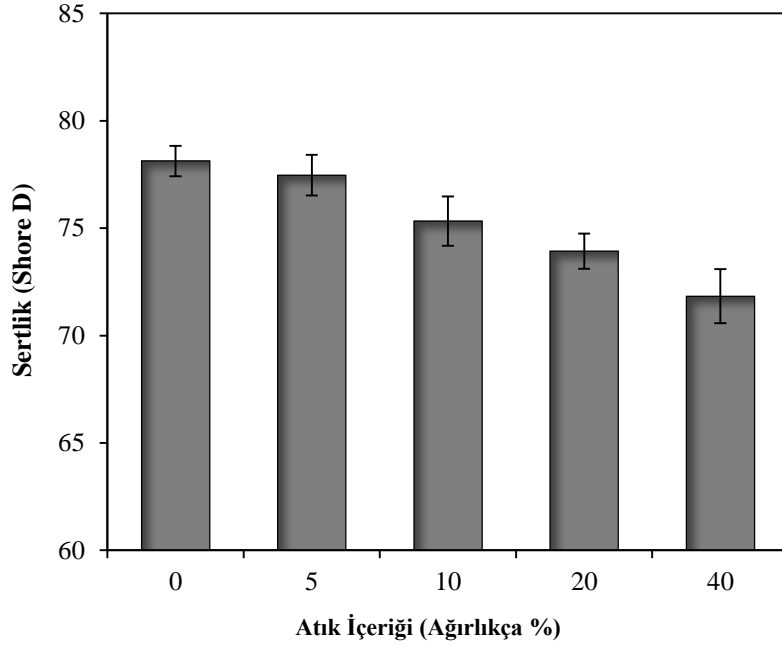
### 3.4. Sertlik Testi

Saf polyester ve şeftali çekirdeği katkılı kompozit numunelerine ait Shore-D sertlik değerleri Şekil 9'da verilmiştir. Şekil 11'den, şeftali çekirdeği kabuğunun polyestere eklenmesinin kompozit numunesinin sertliğini az da olsa düşürdüğü görülmüştür. Saf polyester için sertlik değeri 77.5 Shore-D iken, bu düşüş daha çok ağırlıkça %40 gibi yüksek oranlardaki şeftali çekirdeği kabuğu katkılı kompozit numunesinde görülmüştür ve sertlik değeri 72.0 Shore-D olarak elde edilmiştir. Bu durumun lignoselülozik yapıdaki şeftali çekirdeği kabuğunun, saf polyestere göre daha esnek bir yapıda olmasından kaynaklandığı söylenebilir. Ağırlıkça % 5 ve % 10 gibi düşük dolgu malzemesi katkılı numunelerin sertlik değerlerinin (sırasıyla 77.0 ve 77.5 Shore D) saf polyesterin sertlik değerine yakın olduğu ve kompozit numunesinin sertlik değerini çok fazla olumsuz etkilemediği söylenebilir.





**Şekil 10.** Saf polyester ve şeftali çekirdeği kabuğunun ağırlık yüzdesi ile kompozit numunelerinin eğilme mukavemeti değişimi



**Şekil 11.** Saf polyester ve şeftali çekirdeği kabuğunun ağırlık yüzdesi ile kompozit numunelerinin sertlik değişimi

Borazan ve ark. kimyasal olarak ön işlem görmüş kestane atığı ve çam kozalağı dolgu içeriğinin polyester kompozitin özelliklerine etkisini inceledikleri çalışmada artan çam kozalağı oranı ile darbe dayanımı ve sertliğinin (Shore D) az da olsa azaldığını belirtmişlerdir [11].

Şeftali çekirdeği kabuğu takviyeli polyester kompozitin mekanik özellikleri, literatürde farklı dolgu malzemeleri kullanılarak sentezlenen kompozitler ile karşılaştırılmış ve Tablo 2'de özetlenmiştir.

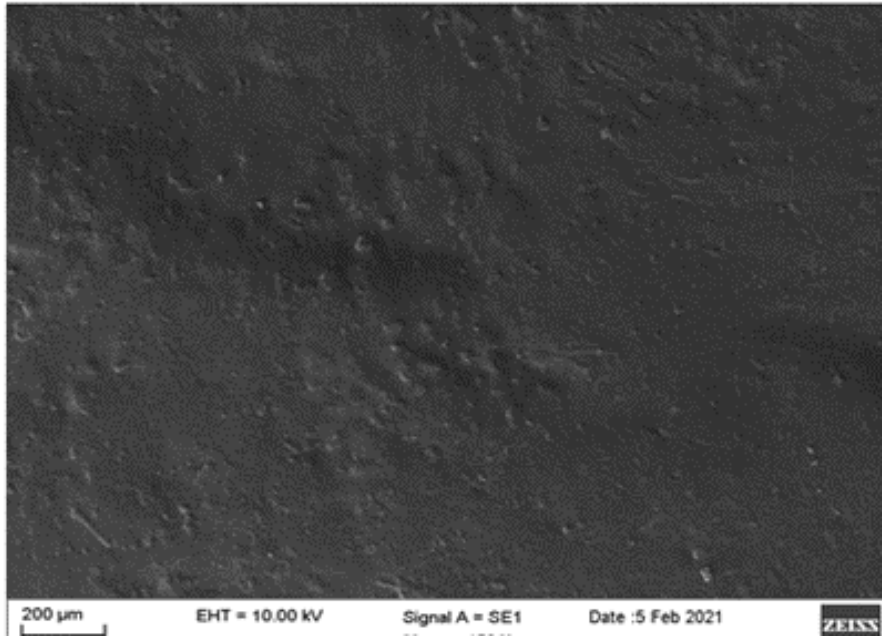
**Tablo 2.** Şeftali çekirdeği kabuğu takviyeli polyester kompozitin mekanik özelliklerinin diğer kompozitlerle karşılaştırılması

Dolgu malzemesi	Uygulanan testler	Kaynaklar
Şeftali hurması tozu	ÇM azaltmış	[27]
	Els.Mod. arttırmış	
	İDM arttırmış	
Ananas yaprağı lifi	ÇM arttırmış	[28]
	Els.Mod. arttırmış	
Huntit minerali	ÇM arttırmış	[29]
	EM arttırmış	
	Els.Mod. arttırmış	
(Çam kozalağı+mermer+ATH)	EM azaltmış	[30]
	Els.Mod. arttırmış	
	S arttırmış	
Şeftali çekirdeği kabuğu	ÇM azaltmış	Bu çalışma
	Els.Mod. azaltmış	
	EM azaltmış	
	S azaltmış	

**ÇM:** Çekme Mukavemeti, **EM:** Eğilme Mukavemeti, **Els.Mod.:** Elastikiyet Modülü, **S:** Sertlik, **İDM:** İzod Darbe Mukavemeti, **ATH:** Yanıcı Olmayan Ticari Dolgu Malzemesi

### 3.5. SEM Analizi Sonuçları

Kullanılan dolgu malzemesinin polyester ile olan etkileşimi ve polyester içerisindeki homojenizasyonu SEM analizi yapılarak incelenmiştir. Saf polyesterin SEM görüntüsü Şekil 12’de verilmiştir. Ağırlıkça %10, %20 ve %40 şeftali çekirdeği kabuğu katkı kompozit numunelerine ait SEM görüntüleri ise Şekil 13’de verilmiştir. Tüm dolgu malzemeleri için ağırlıkça %5’lik kompozit numunesine ait SEM görüntüsü, mekanik testlerde de fazla değişikliğe sebep olmadığı için verilmemiştir. Tüm SEM görüntülerine bakıldığında, ağırlıkça % 20 ve özellikle ağırlıkça %40 katkı kompozit numunelerinin homojenasyonunda azalma, kabarcık oluşumu ve partikül agregasyonuna sebep olduğu görülmektedir.

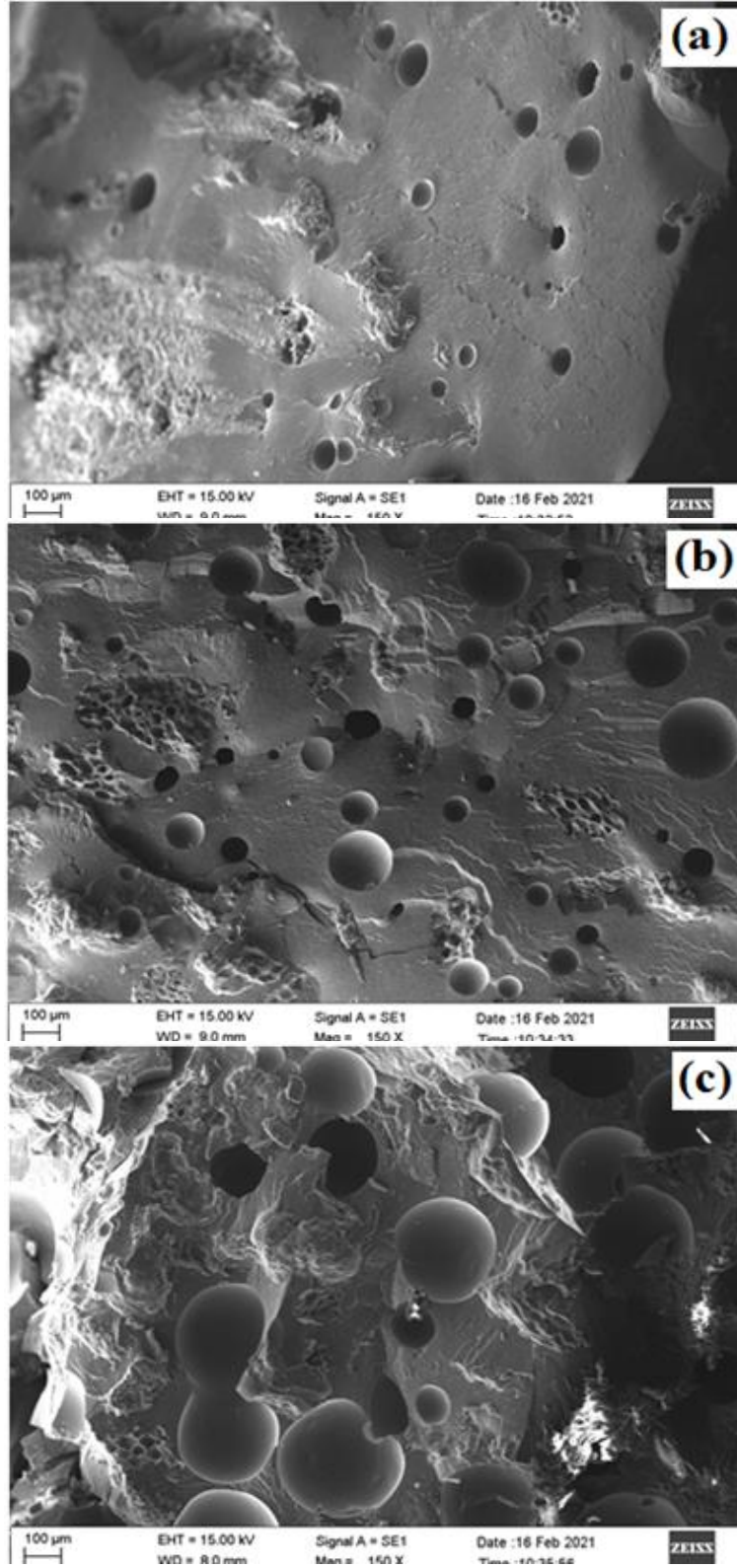


Şekil 12. Saf polyester numunesine ait SEM görüntüsü

### 4. Sonuçlar

Bu çalışmada, şeftali çekirdeği kabuğu gibi tarımsal atıkların doğaya salınması yerine değerlendirilmesinden ortaya çıkan çevresel faydalar yanında atıkların ekonomik olarak değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca şeftali çekirdeği kabuğu kullanılarak polyester esaslı kompozit malzeme üretiminde bu tarz dolgu malzemelerinin kompozitin mekanik özelliklerine olan etkisi belirlenmiştir.

Öncelikli olarak saf polyester numunesi üretilmiş daha sonra polyester reçinesine ağırlıkça % 5, 10, 20 ve 40 oranlarında şeftali çekirdeği kabuğu tozu eklenerek elle döküm yöntemi ile polyester esaslı kompozit malzeme üretilmiştir. Üretilen bu kompozit malzemenin ve saf polyester numunesinin performanslarını değerlendirmek için çekme mukavemeti, elastikiyet modülü, eğilme mukavemeti ve sertlik gibi farklı mekanik testlere tabi tutulmuştur. Çekme mukavemeti testlerinin sonucuna göre; şeftali çekirdeği kabuğu tozunun ilave edilmesi ile üretilen kompozit malzemenin hem çekme mukavemeti hem de elastikiyet modülü değerlerinin azaldığı görülmüştür. Benzer şekilde üç nokta eğilme mukavemeti testlerinin sonucuna göre de şeftali çekirdeği kabuğu katkı kompozit



Şekil 13. Ağırlıkça a) %10, b) %20 ve c) %40 şeftali çekirdeği kabuğu katkılı kompozit numunesine ait SEM görüntüleri

numunelerinin eğilme mukavemeti değerleri, saf polyester numunesinin değerinden daha düşük olduğu belirlenmiştir. Sertlik (Shore-D) testlerinin sonucuna göre; şeftali çekirdeği kabuğu tozunun polyestere eklenmesinin kompozitin sertliğini azda olsa düşürdüğü görülmüştür.

Fiziksel ve mekanik özelliklere ek olarak, dolgu miktarı bir ürünün maliyetini etkilemektedir. Bu amaçla, partikül dolgululu kompozitlerdeki reçine içeriğini düşürerek maliyetler düşürülebilir. Reçine, diğer dolgu türlerine kıyasla nispeten pahalı bir üründür. Buda dolgu malzemesinin maliyetini düşürmek için üreticileri farklı yöntemler aramaya iten ana sebeptir. Sonuç olarak bu çalışmada kullanılan şeftali çekirdeği kabuğu gibi tarımsal atıklar yüksek oranlarda kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini olumsuz etkilese de düşük miktarlarda maliyet düşürücü dolgu malzemesi olarak polyester esaslı kompozit üretiminde kullanılabilir.

### Kaynaklar

- [1] Fowler PA, Hughes JM, Elias RM. Biocomposites: technology, environmental credentials and market forces. *J. Sci. Food Agric.* 2006; 86 (12): 1781–1789.
- [2] Lampinen J. Biocomposite research as a way to add value and sustainability to composites. *Proceedings of the 4th Wood Fibre Polymer Composites International Symposium.* 2009.
- [3] Santos Ribeiro MC, Fiúza A, Ferreira A, Lurdes Dinis M, Meira Castro AC, Meixedo JP, Alvim MR. Recycling Approach towards Sustainability Advance of Composite Materials' Industry. *Recycling.* 2016; 1 (1): 178–193.
- [4] Anonim, West Africa Regional Agriculture and Food Security, World Bank, [www.usaid.gov/west-africa-regional/agriculture-and-food-security](http://www.usaid.gov/west-africa-regional/agriculture-and-food-security). 2016; Erişim Tarihi: 12.03.2019.
- [5] FAO. 2019. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>
- [6] Callister WD, Rethwisch DG. *Materials Science and Engineering: an introduction,* USA, 2007.
- [7] Elshahli E, Elhrari W, Klash A, Shebani A. The use of olive stone waste for production of particleboard using commercial polyster sealer as a binding agent. In *Proceedings of the 1st International Conference on Chemical, Petroleum and Gas Engineering, Alkhoms, Libya, 25–30 January, 2016.*
- [8] Erklig A, Bulut M, Shihan A. An experimental investigation on dynamic and mechanical characterization of olive pomace-filled glass/epoxy composite laminates. *J. Braz. Soc. Mech. Sci. Eng.* 2020; 42: 499-510.
- [9] Gharbi A, Hassen RB., Boufi S. Composite materials from unsaturated polyester resin and olive nuts residue: The effect of silane treatment. *Ind. Crop. Prod.* 2014; 62: 491-498.
- [10] Sewench NR, Samah MH. Characteristic of Hybrid Chestnut Shell Fillers/ Epoxy Composite. *J. Eng. Tech. Manage.* 2013; 31 (3): 368-380.
- [11] Borazan AA, Gokdai D, Acikgoz C, Adiguzel DA. The Influence of Chemically Pre-treated Chestnut Waste and Pinecone Filler Content on the Properties of Polyester Composites. *Environ. Ecol. Res.* 2017; 5 (3): 235-243.
- [12] Dong C, Davies IJ. Flexural Properties of Wheat Straw Reinforced Polyester Composites. *Am. J. Mater. Sci.* 2011; 1 (2): 71-75.
- [13] Orhan R, Topuz S, Aydogmus E. Experimental and Theoretical Study on Mechanical Properties of Apricot Stone Shell Reinforced Polyester Composites. *Asia Pasific 3rd International Conference on Contemporary Studies, Seoul, South Korea.* 2020; 1-2 June, pp. 198-209.
- [14] ASTM. "Annual Book of ASTM Standards", ASTM Standard D 638M-91a, Part 08–01; ASTM: Philadelphia, PA, 1992.
- [15] ASTM D 790. Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials West Conshohocken, United States, ASTM International.
- [16] American Society for Testing and Materials. Designation D2240: standard test methods for rubber properties- Durometer hardness. In: *Annual books of ASTM standards. Section 9. American Society for Testing and Materials.* Philadelphia, 1988.
- [17] Yang H, Yan R, Chen H, Lee DH, Zheng C. Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis. *Fuel.* 2007; 86(12-13): 1781-1788. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2006.12.013>
- [18] Reffas A, Bernardet V, David B, Reinert L, Lehocine MB, Dubois M, Duclaux L. Carbons prepared from coffee grounds by H3PO4 activation: Characterization and adsorption of methylene blue and Nylosan Red N-2RBL. *J. Hazard. Mater.* 2010; 175: 779-788. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.10.076>
- [19] Demiral I, Kul ŞÇ. Pyrolysis of apricot kernel shell in a fixed-bed reactor: Characterization of bio-oil and char. *J. Anal. Appl. Pyrol.* 2014; 107: 17-24. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2014.01.019>

- [20] Barroso-Bogeat A, Alexandre-Franco M, Fernandez-Gonzalez C, Gomez-Serrano V. FT-IR analysis of pyrone and chromene structures in activated carbon. *Energy Fuels*. 2014; 28: 4096-4103. <https://doi.org/10.1021/ef5004733>
- [21] Koto N and Soegijono B. Effect of Rice Husk Ash Filler of Resistance Against of High-Speed Projectile Impact on Polyester-Fiberglass Double Panel Composites. *IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series* 1191, 2019; 012058. doi:10.1088/1742-6596/1191/1/012058.
- [22] Chukwu MN, Madueke CI, Ekebafé LO. Effects of Snail Shell as Filler on the Mechanical Properties of Terephthalic Unsaturated Polyester Resin. *Niger. Res. J. Chem. Sc.* 2019; 6: 21-32.
- [23] Ameh AO, Isa MT, Sanusi I. Effect of particle size and concentration on the mechanical properties of polyester/date palm seed particulate composites. *Leonardo J. Pract. Technol.* 2015; 26: 65-78.
- [24] Yalçın R. Fındık, fıstık ve kayısı çekirdeği kabuğu tozları ile küllerinin karakterizasyonu ve kompozit özelliklerinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. 2020.
- [25] Albano C, Ichazo M, Gonza'lez J, Delgado M, Poleo R. Effects of filler treatments on the mechanical and morphological behavior of PP+wood flour and PP+sisal fiber. *Mater. Res. Innov.* 2001; 4 (5–6): 284–293.
- [26] Dong C, Davies IJ. Flexural Properties of Macadamia Nutshell Particle Reinforced Polyester Composites. *Compos. Part B*. 2012; 43: 2751–2756.
- [27] De Farias MA, Farina MZ, Pezzin APT, Silva DAK. Unsaturated polyester composites reinforced with fiber and powder of peach palm: Mechanical characterization and water absorption profile. *Mater. Sci. Eng., C*. 2009; 29(2): 510–513. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2008.09.020>
- [28] Glória GO, Teles MCA, Lopes FPD, Vieira CMF, Margem FM, Gomes MA, Monteiro SN. Tensile Strength of Polyester Composites Reinforced with PALF. *J. Mater. Res. Technol.* 2017; 6(4): 401–405. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2017.08.006>
- [29] Seki Y, Sever K, Sarıkanat M, Sakarya A, Elik E. Effect of huntite mineral on mechanical, thermal and morphological properties of polyester matrix. *Compos. B; Eng.* 2013; 45: 1534-1540. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2012.09.083>
- [30] Duygu G, Borazan AA, Acikbas G. Effect of Marble: Pine Cone Waste Ratios on Mechanical Properties of Polyester Matrix Composites. *Waste Biomass Valorization*. 2017; 8(5): 1855–1862. <http://dx.doi.org/10.1007/s12649-017-9856-6>.